

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-165561

(43)Date of publication of application : 22.06.2001

(51)Int.Cl.

F25J 1/00  
C10L 3/06

(21)Application number : 2000-312286

(71)Applicant : AIR PROD AND CHEM INC

(22)Date of filing : 12.10.2000

(72)Inventor : BROSTOW ADAM ADRIAN  
AGRAWAL RAKESH  
DON MICHAEL HAARON  
ROBERTS MARK J

(30)Priority

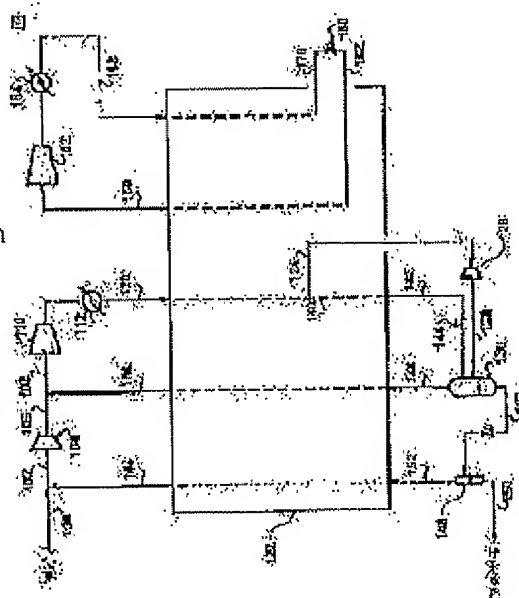
Priority number : 1999 415996 Priority date : 12.10.1999 Priority country : US

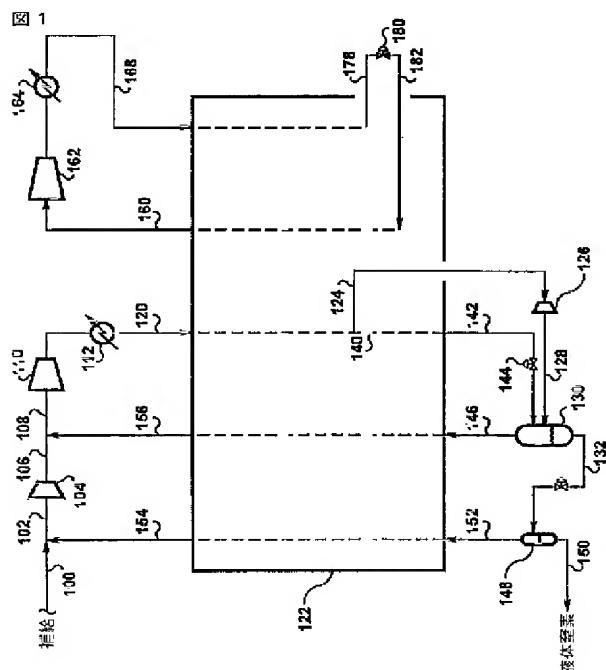
## (54) METHOD OF LIQUEFYING SOURCE GAS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of liquefying source gas using a recirculative cooling system where a refrigerant recirculates.

SOLUTION: At least a part of all cold required to cool and condense source gas 100 is provided, using two cooling systems. The first cooling system includes at least one recirculative cooling path, and it provide cold in a first temperature range, using two or more kinds of refrigerant components. The second cooling system provides cold where a refrigerant at low temperature is generated by expanding the work of a refrigerant stream 124 whose at least one part is cooled and boosted, and it is in a second temperature range. The refrigerant stream which is cooled and boosted contains material gas, and besides it has the same composition as the source gas. Preferably, the lowest temperature in the second temperature range is lower than the lowest temperature in a first temperature range.





【特許請求の範囲】

【請求項1】 原料ガスを冷却し凝縮させるのに必要とされる全寒冷のうちの少なくとも一部を、

(a) 少なくとも一つの再循環冷却路を含み、2種以上の冷媒成分を使用しそして第一の温度範囲の寒冷を提供する第一の冷却系、及び(b)低温の冷媒を、少なくとも一部分は、原料ガスを含み且つ原料ガスと同じ組成を有する冷却し昇圧した冷媒流を仕事膨張させることにより発生させ、そしてそれが第二の温度範囲の寒冷を提供する第二の冷却系、を使って提供することを含む、原料ガスの液化方法。

【請求項2】 前記第二の温度範囲における最低温度が前記第一の温度範囲における最低温度よりも低い、請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記原料ガスが窒素を含む、請求項2記載の方法。

【請求項4】 前記原料ガスにおける窒素濃度が空気中の窒素の濃度と等しいか又はそれより高い、請求項3記載の方法。

【請求項5】 前記第一の冷却系が、

(1) 気体の混合冷媒を圧縮する工程、

(2) 得られた圧縮混合冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、

(3) 得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、

(4) 得られた減圧した混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷を提供し、且つ気化した冷媒を得る工程、及び

(5) この気化した混合冷媒を再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含む、請求項1記載の方法。

【請求項6】 前記第一の温度範囲における最低温度が $-87^{\circ}\text{C}$  ( $-125^{\circ}\text{F}$ )と $-157^{\circ}\text{C}$  ( $-250^{\circ}\text{F}$ )の間にある、請求項2又は5記載の方法。

【請求項7】 前記混合冷媒が、窒素と、含有炭素原子数が1以上の炭化水素とからなる群より選ばれる2種以上の成分を含む、請求項5記載の方法。

【請求項8】 前記第一の冷却系が、

(1) 次の(1a)～(1e)、すなわち

(1a) 第一の気体冷媒を圧縮する工程、

(1b) 得られた圧縮した第一の気体冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、

(1c) 得られた少なくとも部分的に凝縮した第一の冷媒を減圧する工程、

(1d) 得られた減圧した第一の冷媒を気化させて寒冷を提供し、且つ気化した第一の冷媒を得る工程、及び

(1e) この気化した第一の冷媒を再循環させて(1a)の気体冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される第一の再循環冷却路、並びに

(2) 次の(2a)～(2e)、すなわち

(2a) 第二の気体冷媒を圧縮する工程、

(2b) 得られた圧縮した第二の気体冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、

(2c) 得られた少なくとも部分的に凝縮した第二の冷媒を減圧する工程、

(2d) 得られた減圧した第二の冷媒を気化させて寒冷を提供し、且つ気化した第二の冷媒を得る工程、及び

(2e) この気化した第二の冷媒を再循環させて(2a)の第二の気体冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される第二の再循環冷却路、を含む、請求項1記載の方法。

【請求項9】 前記第二の再循環冷却路における最低温度が前記第一の再循環冷却路における最低温度より低い、請求項8記載の方法。

【請求項10】 前記第一の気体冷媒と前記第二の気体冷媒がおのおの、窒素と、含有炭素原子数が1以上の炭化水素とからなる群より選ばれる成分を1種以上含む、請求項8記載の方法。

【請求項11】 前記第一の冷却系が、

(1) 気体の混合冷媒を圧縮する工程、

(2) 得られた圧縮混合冷媒のうちの第一の部分を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、

(3) 得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、

(4) 得られた(3)の減圧した部分凝縮圧縮混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷のうちの第一の部分を提供し、且つ気化した冷媒を得、そしてこの気化した冷媒を圧縮する工程、

(5) 上記の得られた圧縮混合冷媒のうちの第二の部分を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、

(6) 得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、

(7) 得られた減圧した部分の混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷のうちの第二の部分を提供し、且つ追加の気化した冷媒を得る工程、及び

(8) 得られた(4)の圧縮した気化冷媒と(7)の追加の気化冷媒とを一緒にして、その結果得られた一緒にした気化冷媒を再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含む、請求項1記載の方法。

【請求項12】 前記得られた圧縮した混合冷媒を冷却し、部分的に凝縮させ、そして液体の流れと蒸気の流れに分け、当該液体の流れが前記得られた圧縮混合冷媒のうちの第一の部分を提供し、当該蒸気の流れが前記得られた圧縮混合冷媒のうちの第二の部分を提供する、請求項11記載の方法。

【請求項13】 前記液体の流れのうちの一部分を前記得られた圧縮混合冷媒のうちの第二の部分と一緒にする、請求項12記載の方法。

【請求項14】 前記第一の冷却系が、

- (1) 気体の混合冷媒を圧縮する工程、
- (2) 得られた圧縮混合冷媒を冷却し、部分的に凝縮させ、そして液体の冷媒の流れと蒸気の冷媒の流れとに分ける工程、
- (3) この液体の冷媒の流れを更に冷却し且つ減圧して第一の冷却し減圧した冷媒の流れを得る工程、
- (4) 上記の冷却した蒸気の冷媒の流れを冷却し、少なくとも部分的に凝縮させ、そして減圧して、第二の冷却し減圧した冷媒の流れを得る工程、
- (5) この第二の冷却し減圧した冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの一部分を提供し、且つ加温した第二の減圧した冷媒の流れを得る工程、
- (6) 上記第一の冷却し減圧した冷媒の流れと上記の加温した第二の減圧した冷媒の流れとを一緒にして、得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの別の部分を提供する工程、及び
- (7) 得られた加温した一緒にした冷媒の流れを再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含む、請求項1記載の方法。

【請求項15】 前記第一の冷却系が、

- (1) 気体の混合冷媒を圧縮する工程、
- (2) 得られた圧縮混合冷媒を冷却し、部分的に凝縮させ、そして第一の液体の冷媒の流れと第一の蒸気の冷媒の流れとに分ける工程、
- (3) この第一の液体の冷媒の流れを更に冷却しそして減圧して第一の冷却した冷媒の流れを得る工程、
- (4) 上記の第一の蒸気の冷媒の流れを冷却し、部分的に凝縮させ、そして得られた流れを分けて第二の液体の冷媒の流れと第二の蒸気の冷媒の流れを得る工程、
- (5) この第二の蒸気の冷媒の流れを冷却し、少なくとも部分的に凝縮させ、そして減圧して、第二の冷却した冷媒の流れを得る工程、
- (6) この第二の冷却した冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの一部分を提供し、そして第一の加温した冷媒の流れを得る工程、
- (7) この第一の加温した冷媒の流れを上記の第二の冷却した冷媒の流れと一緒にし、そして得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちのもう一つの部分を提供して、第二の加温した冷媒の流れを得る工程、
- (8) この第二の加温した冷媒の流れを第一の冷却した冷媒の流れと一緒にし、そして得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの更にもう一つの部分を提供して、第三の加温した冷媒の流れを得る工程、及び
- (9) この第三の加温した冷媒の流れを再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含む、請求項1記載の方法。

【請求項16】 前記第二の再循環冷却路が、

- (1) 原料ガスを含む第一のガス流を圧縮及び冷却して冷却した圧縮ガス流を提供する工程、
- (2) この冷却した圧縮ガス流のうちの第一の部分を仕事膨張させて(b)における低温の冷媒のうちの少なくとも一部分を提供する工程、
- (3) この低温の冷媒を加温して第二の温度範囲の寒冷を提供する工程、及び
- (4) 得られた加温した冷媒を再循環させて(1)の第一のガス流のうちの一部分を提供する工程、を包含する工程により運転する、請求項1記載の方法。

【請求項17】 前記第二の温度範囲における最低温度が $-140^{\circ}\text{C}$  ( $-220^{\circ}\text{F}$ )と $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ )の間にある、請求項6又は16記載の方法。

【請求項18】 (1)の第一のガス流のうちのもう一つの部分を原料ガスを含むガス補給流により提供する、請求項16記載の方法。

【請求項19】 前記冷却した圧縮ガス流のうちの第二の部分に更に冷却して低温の圧縮ガス流を提供し、この低温の圧縮ガス流を減圧して、少なくとも一部分液化される減圧した流れを得、この減圧した流れを分離容器へ導入し、そしてそこから液化ガスの流れを抜き出すことを更に含む、請求項18記載の方法。

【請求項20】 得られた(2)の仕事膨張したガスを前記分離容器へ導入し、そしてそこから蒸気の流れを抜き出して(b)の低温の冷媒のうちの少なくとも一部分を提供する、請求項19記載の方法。

【請求項21】 前記液化ガスの流れを減圧し、その結果得られた減圧流をもう一つの分離容器へ導入し、そこから最終の液化ガス製品と、低温の蒸気流とを抜き出し、この低温の蒸気流を加温して、原料ガスの液化のための全寒冷のうちのもう一つの部分を提供し、得られた加温した蒸気流を前記原料ガスと一緒にし、その結果得られた一緒にしたガス流を圧縮して前記ガス補給流を提供することを更に含む、請求項20記載の方法。

【請求項22】 (2)において冷却した圧縮ガス流のうちの第一の部分を仕事膨張させることにより発生される仕事が、(1)の第一のガス流を圧縮するための仕事のうちの一部分を提供する、請求項16記載の方法。

【請求項23】 (1)における気体の混合冷媒の圧縮を、i)中間段で冷却を行う多段圧縮機で行い、少なくとも一つの間段の凝縮液の流れを所定の段から抜き出し、より高い圧力に昇圧し、そしてそのあとの圧縮段からの吐出流と一緒にし、又は、i i)中間段で冷却を行い中間段の凝縮液を生じさせない多段圧縮機で行う、請求項5記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、冷媒が再循環する再循環冷却系を使用する原料ガスの液化方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】周囲よりもずっと低い温度での低沸点ガス類の液化は、必要とされる液化ガスの凝縮温度に達するために選ばれた寒冷を利用する低温(cryogenic)冷却装置によりなされる。そのような装置のための適切な冷媒と冷却サイクルは、エネルギー集中式の液化プロセスにおける動力必要量を最小限にするよう選ばれる。ヘリウム、水素、メタン及び窒素といったような低沸点ガス類の液化のための低温プロセスは、当該技術においてよく知られている。

【0003】これらのガス類の液化のための寒冷は、典型的に、いくつかのタイプの冷却系を、しばしば組み合わせて、利用し、供給原料ガスをその凝縮温度まで冷やす。液化しようとするガスから熱を間接的に移動させる外部閉ループ冷却装置が使用される。液化させるガスを絞りによりあるいは仕事膨張により直接冷やす自動冷却も、ヘリウム、水素及び窒素等の最低沸点のガスのために利用される。閉ループ冷却装置と自動冷却装置の組み合わせを使って、より高いプロセス効率が達成される。

【0004】典型的な窒素液化法は、高温の窒素ガスを一つ以上の圧力レベルに圧縮し、この圧縮ガスを冷却し、そして冷却した圧縮ガスの一部を1又は2以上のターボエクスパンダーで仕事膨張させて液化のための寒冷を提供する。この仕事膨張工程により生じる冷却効果は、自動冷却(autorefrigeration)と定義される。圧縮ガスの残りの部分は、熱交換器において1又は2以上の低温ターボエクスパンダー排出流で冷却され、減圧され、そして液として回収される。異なる温度レベルにまたがり、またしばしば異なる圧力レベルにまたがって運転する、多数のエクスパンダーを用いることは、熱交換器の最も適切な箇所まで寒冷を供給することにより、プロセスの効率を改善する。所望の成果は圧縮機動力消費量がより少ないことである。ターボエクスパンダー式の窒素液化装置の技術分野にはたくさんの例が存在する。米国特許第5836173号明細書には単一のターボエクスパンダーサイクルが示されており、米国特許第4778497号明細書と同第5231835号明細書には、ターボエクスパンダーサイクルが二つのものが示されており、そして米国特許第4894076号明細書と同第5271231号明細書にはターボエクスパンダーサイクルが三つのものが示されている。

【0005】典型的なエクスパンダー2基の窒素液化装置は、B. H. Hands編集の“Cryogenic Engineering”, Academic Press, Inc., London (1986)の図16.15に示されている。寒冷は二つの温度レベルにまたがって運転する2基のターボエクスパンダーにより提供される。この参考文献に例示されたように、一番高い温度レベルの追加の寒冷をチラーで昇圧窒素流を予冷す

ることにより供給することができる。一般に閉ループのフロン又はアンモニア冷却装置であるそのようなチラーは、1980年代を通して建設された窒素液化装置でよく用いられた。やはり予冷を利用することが米国特許第4375367号明細書に開示されている。特定の冷媒の使用によるターボエクスパンダー効率と環境上の制限の改善は、そのような予冷のアプローチの適用可能性を低減させている。更に、予冷により達せられる温度レベルは控えめであり、一般に約 $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$ )より低くない。

【0006】特定の状況においては外部の供給源から寒冷を得られることがある。この寒冷は、例えば予冷を行いそして窒素の液化のための寒冷を提供するために、使用することができる。応用例は、液化天然ガス(LNG)の分配と使用のための加温と気化から得られる寒冷である。米国特許第5139547号明細書には窒素の液化において気化するLNGからの寒冷を利用することが開示されている。LNGからの寒冷を使用することのみに基づく窒素液化サイクルは、メタンの標準沸点が $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-260^{\circ}\text{F}$ )であり窒素の標準沸点が $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ )であるので、あまり効率的でない。米国特許第5141543号明細書は、一番低い温度の寒冷を提供するために補助の窒素ターボエクスパンダーを使用することを開示することによって、これを認めている。米国特許第5139547号明細書と同第5141543号明細書の目立つ特徴は、気化するLNGからの寒冷のほとんどを使って低い温度での窒素の圧縮を可能にしていることである。これは、LNGが、本来純粋成分でありそして単一の圧力で気化するので、比較的狭い温度範囲にまたがり不相応な量の寒冷を提供することから起きる。

【0007】典型的な天然ガス液化装置は、閉ループ冷却サイクルを使用する。これらのサイクルのうちの最も支持されているものは、循環流体のために複数成分の混合物を使用する。これらの方法においては、多成分の又は混合した冷媒を圧縮し、凝縮させ、冷却し、減圧し、そして気化させる。混合冷媒の気化が、昇圧した天然ガスを液化するのに必要な寒冷を提供する。熱交換器における最も適切な温度レベルと位置とで寒冷を提供するよう、多数の圧力レベルと組成範囲が、混合冷媒のために使用される。

【0008】たくさんのタイプの閉ループ混合冷媒プロセスが当該技術において知られている。米国特許第5657643号明細書には、特に天然ガスの液化のために、あるいは一般に流体を冷却するために使用される比較的単純な単一の混合冷媒サイクルが開示されている。単一の混合冷媒サイクルのこのほかの例には、米国特許第3747359号明細書及び同第4251247号明細書が含まれる。供給原料ガスの液化のために必要な寒冷は単一の混合冷媒サイクルで達成できるよりも広い温

度範囲にわたり供給されなくてはならないので、単一の混合冷媒サイクルの効率は制限される。言い換えれば、周囲温度から $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-260^{\circ}\text{F}$ ) までの温度範囲にわたり寒冷を効率的に提供することができる混合冷媒成分の単一組成物を製造することは困難である。

【0009】より効率的な閉ループ混合冷媒プロセスは、必要とされる温度範囲にもっと効率的にまたがるために多数の冷媒サイクルを使用する。一つの普及しているタイプはプロパンで予冷される混合冷媒サイクルであり、その例は米国特許第3763658号明細書に開示されている。第一の冷却ループはプロパンを使って、第二の冷却ループの混合冷媒と、そしてまた天然ガス供給原料を、およそ $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$ ) まで予冷する。ほかのタイプの多数冷媒サイクルは、異なる温度で運転する二つの別個の混合冷媒ループを使用する。これらのサイクルは、複混合冷媒 (dual-mixed refrigerant) サイクルと呼ばれることがよくあり、米国特許第4274849号明細書及び同第4525185号明細書に記載されている。第三のタイプの多数冷媒サイクルは「カスケード」サイクルと呼ばれ、それは一般に三つの冷却ループを使用する。一番高温のループは作業流体としてプロパンを使用し、一番低温のループは作業流体としてメタンを使用し、そして中間温度のループは作業流体としてエタン又はエチレンのいずれかを使用する。K. D. Timmerhaus 及び T. M. Flynn による "Cryogenic Process Engineering", Plenum Press, New York (1989) の図4.19に、このサイクルが簡潔に記載されている。

【0010】天然ガスを液化するのに用いられる閉ループ混合冷媒サイクルを使って窒素を液化することが理論的に可能であるとは言っても、これらの混合冷媒システムは窒素を液化するのに必要とされる低温の寒冷を供給するには非効率的であることから、そのようなサイクルの効率は所望されるものよりも低くなる。上で検討した通常の方法よりも経済的で且つ効率的である改良された窒素液化方法が望ましい。下記において説明されそして特許請求の範囲によって明確にされるとおりの本発明の目的は、自動冷却を一つ以上の閉ループ多成分冷却系と組み合わせる改良した窒素液化方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、原料ガスを冷却し凝縮させるのに必要とされる全寒冷のうちの少なくとも一部を二つの冷却系を使って提供することを含む、原料ガスの液化方法である。第一の冷却系は、少なくとも一つの再循環冷却路を含み、そしてこの第一の冷却系は2種以上の冷媒成分を使用し、そして第一の温度範囲の寒冷を提供する。第二の冷却系では、低温の冷媒を、少なくとも一部分は、冷却し昇圧した冷媒流を仕事膨張

させることにより発生させ、そしてそれが第二の温度範囲の寒冷を提供する。この冷却し昇圧した冷媒流は原料ガスを含み、そして原料ガスと同じ組成を有する。

【0012】好ましくは、第二の温度範囲における最低温度は第一の温度範囲における最低温度よりも低い。第一の温度範囲における最低温度は約 $-87^{\circ}\text{C}$  (約 $-125^{\circ}\text{F}$ ) と約 $-157^{\circ}\text{C}$  ( $-250^{\circ}\text{F}$ ) の間にあることができる。第二の温度範囲における最低温度は一般に、約 $-140^{\circ}\text{C}$  (約 $-220^{\circ}\text{F}$ ) と約 $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ ) の間にあることができる。原料ガスは好ましくは窒素を含み、そして原料ガスにおける窒素濃度は空気中の窒素の濃度と等しいか又はそれより高くてよい。

【0013】一つの態様において、第一の冷却系は、(1) 気体の混合冷媒を圧縮する工程、(2) 得られた圧縮混合冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、(3) 得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、(4) 得られた減圧した混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷を提供し、且つ気化した冷媒を得る工程、及び(5) この気化した混合冷媒を再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含む。第一の温度範囲における最低温度は、一般に約 $-87^{\circ}\text{C}$  (約 $-125^{\circ}\text{F}$ ) と約 $-157^{\circ}\text{C}$  ( $-250^{\circ}\text{F}$ ) の間にある。混合冷媒は、窒素と、含有炭素原子数が1以上の炭化水素とからなる群より選ばれる成分を2種以上含むことができる。

【0014】もう一つの態様において、第一の冷却系は第一及び第二の再循環冷却路を含むことができる。第一の再循環冷却路は、(1a) 第一の気体冷媒を圧縮する工程、(1b) 得られた圧縮した第一の気体冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、(1c) 得られた少なくとも部分的に凝縮した第一の冷媒を減圧する工程、(1d) 得られた減圧した第一の冷媒を気化させて寒冷を提供し、且つ気化した第一の冷媒を得る工程、及び(1e) この気化した第一の冷媒を再循環させて(1a)の気体冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される。

【0015】第二の再循環冷却路は、(2a) 第二の気体冷媒を圧縮する工程、(2b) 得られた圧縮した第二の気体冷媒を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、(2c) 得られた少なくとも部分的に凝縮した第二の冷媒を減圧する工程、(2d) 得られた減圧した第二の冷媒を気化させて寒冷を提供し、且つ気化した第二の冷媒を得る工程、及び(2e) この気化した第二の冷媒を再循環させて(2a)の第二の気体冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される。

【0016】第二の再循環冷却路における最低温度は第一の再循環冷却路における最低温度より低くてよい。第一の気体冷媒と第二の気体冷媒はおのおの、窒素と、含

有炭素原子数が1以上の炭化水素とからなる群より選ばれる成分を1種以上含むことができる。

【0017】なおもう一つの態様において、第一の冷却系は、(1)気体の混合冷媒を圧縮する工程、(2)得られた圧縮混合冷媒のうちの第一の部分を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、(3)得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、

(4)得られた(3)の減圧した部分凝縮圧縮混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷のうちの第一の部分を提供し、且つ気化した冷媒を得、そしてこの気化した冷媒を圧縮する工程、(5)上記の得られた圧縮混合冷媒のうちの第二の部分を冷却し少なくとも部分的に凝縮させる工程、(6)得られた少なくとも部分的に凝縮した圧縮混合冷媒を減圧する工程、(7)得られた減圧した部分の混合冷媒を気化させて第一の温度範囲の寒冷のうちの第二の部分を提供し、且つ追加の気化した冷媒を得る工程、及び(8)得られた(4)の圧縮した気化冷媒と(7)の追加の気化冷媒とを一緒にして、その結果得られた一緒にした気化冷媒を再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含むことができる。

【0018】得られた圧縮した混合冷媒は、冷却し、部分的に凝縮させ、そして液体の流れと蒸気の流れに分けることができ、この液体の流れは上記の得られた圧縮した混合冷媒のうちの第一の部分を提供し、蒸気の流れは上記の得られた圧縮した混合冷媒のうちの第二の部分を提供し、液体の流れのうちの一部分は得られた圧縮した混合冷媒のうちの第二の部分と一緒にすることができる。

【0019】更に別の態様において、第一の冷却系は、(1)気体の混合冷媒を圧縮する工程、(2)得られた圧縮混合冷媒を冷却し、部分的に凝縮させ、そして液体の冷媒の流れと蒸気の流れとに分ける工程、

(3)この液体の冷媒の流れを更に冷却しそして減圧して第一の冷却し減圧した冷媒の流れを得る工程、(4)上記の冷却した蒸気の流れを冷却し、少なくとも部分的に凝縮させ、そして減圧して、第二の冷却し減圧した冷媒の流れを得る工程、(5)この第二の冷却し減圧した冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの一部分を提供し、且つ加温した第二の減圧した冷媒の流れを得る工程、(6)第一の冷却し減圧した冷媒の流れと上記の加温した第二の減圧した冷媒の流れと一緒にして、得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの別の部分を提供する工程、及び(7)得られた加温した一緒にした冷媒の流れを再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含むことができる。

【0020】もう一つの態様において、第一の冷却系は、(1)気体の混合冷媒を圧縮する工程、(2)得ら

れた圧縮混合冷媒を冷却し、部分的に凝縮させ、そして第一の液体の冷媒の流れと第一の蒸気の流れとに分ける工程、(3)この第一の液体の冷媒の流れを更に冷却しそして減圧して第一の冷却した冷媒の流れを得る工程、(4)上記の第一の蒸気の流れを冷却し、部分的に凝縮させ、そして得られた流れを分けて第二の液体の冷媒の流れと第二の蒸気の流れを得る工程、(5)この第二の蒸気の流れを冷却し、少なくとも部分的に凝縮させ、そして減圧して、第二の冷却した冷媒の流れを得る工程、(6)この第二の冷却した冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの一部分を提供し、そして第一の加温した冷媒の流れを得る工程、(7)この第一の加温した冷媒の流れを上記の第二の冷却した冷媒の流れと一緒にし、そして得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちのもう一つの部分を提供して、第二の加温した冷媒の流れを得る工程、(8)この第二の加温した冷媒の流れを第一の冷却した冷媒の流れと一緒にし、そして得られた一緒にした冷媒の流れを加温して第一の温度範囲の寒冷のうちの更にもう一つの部分を提供して、第三の加温した冷媒の流れを得る工程、及び(9)この第三の加温した冷媒の流れを再循環させて(1)の気体の混合冷媒を提供する工程、を包含する工程により運転される再循環冷却路を含むことができる。

【0021】第二の再循環冷却路は、(1)原料ガスを含む第一のガス流を圧縮及び冷却して冷却した圧縮ガス流を提供する工程、(2)この冷却した圧縮ガス流のうちの第一の部分を仕事膨張させて(b)における低温の冷媒のうちの少なくとも一部分を提供する工程、(3)この低温の冷媒を加温して第二の温度範囲の寒冷を提供する工程、及び(4)得られた加温した冷媒を再循環させて(1)の第一のガス流のうちの一部分を提供する工程、を包含する工程により運転することができる。第二の温度範囲における最低温度は一般に、約-140℃(約-220°F)と-196℃(-320°F)の間にある。(1)の第一のガス流のうちのもう一つの部分は、原料ガスを含むガス補給流により提供することができる。

【0022】冷却した圧縮ガス流のうちの第二の部分は、更に冷却して低温の圧縮ガス流を提供することができる、この低温の圧縮ガス流の圧力は、少なくとも一部分液化される減圧した流れを得るため低下させることができる。この減圧した流れは分離容器へ導入することができる、そこから液化ガスの流れを抜き出すことができる。得られた(2)の仕事膨張したガスも、分離容器へ導入することができる、そこから蒸気の流れを抜き出して(b)の低温の冷媒のうちの少なくとも一部分を提供することができる。

【0023】液化ガスの流れの圧力を低下させ、その結果得られた減圧流をもう一つの分離容器へ導入し、そこ

から最終の液化ガス製品と、低温の蒸気流を抜き出し、そしてこの低温の蒸気流を加温して、原料ガスの液化のための全寒冷のうちのもう一つの部分を提供することができる。得られた加温した蒸気流を原料ガスと一緒にし、その結果得られた一緒にしたガス流を次いで圧縮して上記のガス補給流を提供することができる。

【0024】(2)において冷却した圧縮ガス流のうちの第一の部分を仕事膨張させることにより発生される仕事は、(1)の第一のガス流を圧縮するための仕事のうちの一部分を提供することができる。

【0025】(1)における気体の混合冷媒の圧縮は、中間段で冷却を行う多段圧縮機で行うことができ、その際、少なくとも一つの中間段の凝縮液の流れは所定の段から抜き出され、より高い圧力に昇圧され、そしてそのあとの圧縮段からの吐出流と一緒にされる。あるいは、(1)における気体の混合冷媒の圧縮は、中間段で冷却を行い中間段の凝縮液を生じさせない多段圧縮機で行うことができる。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明は、自動冷却サイクルの使用を、2種以上の冷媒成分を用いる1以上の閉ループ冷却サイクルと組み合わせる窒素の液化方法である。この閉ループ又は再循環冷却サイクルは、最低温度が約 $-43^{\circ}\text{C}$  (約 $-45^{\circ}\text{F}$ )と約 $-157^{\circ}\text{C}$  (約 $-250^{\circ}\text{F}$ )の間、好ましくは約 $-87^{\circ}\text{C}$  (約 $-125^{\circ}\text{F}$ )と約 $-157^{\circ}\text{C}$  (約 $-250^{\circ}\text{F}$ )の間にある温度範囲にわたる寒冷を提供する。窒素エキスパンダーサイクルが追加の寒冷を提供し、そのうちの一部は閉ループ又は再循環冷却サイクルの最低温度未満の温度で提供される。以下において本発明を窒素の液化について説明すると言え、空気を含めて他の低沸点ガス類を本発明の基本原則を使って液化させることができる。

【0027】本発明の一つの態様を図1に示す。低圧の窒素補給原料ガス100を低圧の窒素再循環流154と一緒にして流れ102を作る。流れ102を補給圧縮機104で圧縮して流れ106を作り、次いでそれを中圧の窒素再循環流156と一緒にして流れ108を作る。流れ108を再循環圧縮機110で圧縮し、後置冷却器112で冷却して流れ120を作り、液化熱交換器122へ導入する。流れ120を熱交換器122の低温端の温度と高温端の温度との間の温度まで冷却し、そして流れ124と流れ140に分割する。流れ124はターボエキスパンダー126で仕事膨張させて膨張流128を作り、それを中圧の相分離器130へ導入する。流れ140は更に冷却して、一般にその臨界温度より低い温度の流れ142を生じさせ、弁144を通して減圧し、そして中圧の相分離器130へ導入する。

【0028】中圧の相分離器130からの蒸気流146を液化熱交換器122で寒冷を提供させるためそこで加温し、中圧の窒素再循環流156を生じさせる。中圧の

相分離器130からの液体流132を更に減圧して、低圧の相分離器148へ導く。この低圧の相分離器からの蒸気流152を液化熱交換器122で追加の寒冷を提供させるためそこで加温し、低圧の窒素再循環流154を生じさせる。低圧の相分離器148からの液体流150が液体窒素製品を構成する。

【0029】一般には炭化水素の混合物でありそして窒素等のような何らかの低沸点成分を含有していてもよい混合冷媒再循環蒸気流160を、混合冷媒圧縮機162で圧縮し、熱交換器164で少なくとも一部分、好ましくは完全に、凝縮させ、そして流れ168として液化熱交換器122へ導入する。流れ168を液化熱交換器122で冷却して流れ178を生じさせ、それをその後絞り弁180を通して減圧して流れ182を生じさせる。減圧した流れ182は典型的に、約 $-43^{\circ}\text{C}$  (約 $-45^{\circ}\text{F}$ )より低い、より好ましくは約 $-87^{\circ}\text{C}$  (約 $-125^{\circ}\text{F}$ )より低い温度にある。流れ182を気化させ、液化熱交換器122で寒冷を提供させるためそこで加温して、混合冷媒再循環流160を生じさせる。圧縮機104、110及び162は一般に、簡潔のために図には示していない中間冷却器付きの、多段圧縮機である。図1の態様は、本発明の低経費の実施態様である。

【0030】本発明のもう一つの態様を図2に示す。図2の窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。圧縮しそして少なくとも部分的に凝縮させた混合冷媒流168を分割して二つの部分、すなわち流れ268と270にする。流れ270を熱交換器122で冷却して流れ272を生じさせ、弁274を通して減圧して流れ276を作る。続いて、流れ276を熱交換器122で寒冷を提供させるためそこで気化させ且つ加温し、そして混合冷媒圧縮機162の中間段の箇所へ流れ262として導入する。

【0031】流れ268を熱交換器122で流れ272よりも低い温度まで冷却して流れ278を生じさせ、それを弁280を通して流れ276の圧力より低い圧力まで減圧する。この結果、減圧した流れ282が得られ、その温度は約 $-43^{\circ}\text{C}$  (約 $-45^{\circ}\text{F}$ )より低く、より好ましくは約 $-87^{\circ}\text{C}$  (約 $-125^{\circ}\text{F}$ )より低い。流れ282を熱交換器122で追加の寒冷を提供させるためそこで気化させ且つ加温し、そして混合冷媒圧縮機162へ流れ260として導入する。

【0032】この態様の効率は、混合冷媒を混合冷媒圧縮機162へ二つの圧力レベルで戻し、それにより動力を減少させるので、図1の態様以上に改善される。更に別の圧力レベルを使用してもよいが、そのようなオプションには効率と資本支出との交換取引が伴う。

【0033】図3は本発明のもう一つの態様を示している。図3の窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。混合冷媒再循環流160を混合冷媒圧縮機162で圧縮し、熱

交換器164で部分的に凝縮させて流れ168を作り、そして相分離器366へ導入する。より低揮発性の成分を富ませた液体流370を相分離器366から抜き出し、液化熱交換器122で冷却して流れ372を生じさせ、そして弁374を通し減圧して流れ376を作る。より高揮発性の成分を富ませた相分離器366からの蒸気流368を液化熱交換器122で冷却し、少なくとも部分的に、好ましくは完全に、凝縮させて流れ378を生じさせる。流れ378を弁380を通して減圧して、一般には約-43℃(約-45°F)より低く、好ましくは約-87℃(約-125°F)より低く、より好ましくは約-115℃(約-175°F)より低い温度の流れ382を生じさせる。

【0034】流れ382を液化熱交換器122で寒冷を提供させるためそこで気化させ加温して流れ384を生じさせ、これを流れ376と一緒にして流れ386を作る。この一緒にした流れをそこで追加の寒冷を提供させるため更に気化させ加温して、混合冷媒再循環流160を生じさせる。この態様は、混合冷媒流168をより高揮発性の部分とより低揮発性の部分とに分けることが寒冷をより低い温度でより効率的に発生させるのを可能にするので、図1の態様以上の改善となる。

【0035】もう一つの態様を、図3の態様を改変したものとして図4に示す。図4における窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。圧縮し部分的に凝縮させた混合冷媒流168を相分離器366に導入する。より低揮発性の成分に富ませた液体流370を、相分離器366から抜き出し、液化熱交換器122で冷却して流れ372を生じさせ、そして弁374を通し減圧して流れ476を作る。次に、流れ476を熱交換器122で追加の寒冷を生じさせるためそこで気化させ加温して、混合冷媒圧縮機162へ流れ262として導入する。

【0036】相分離器366からの、より高揮発性の成分に富ませた蒸気流368を熱交換器122で、流れ372よりも低い温度まで冷却して流れ378を生じさせる。この流れを弁380を通し、流れ476の圧力より低い圧力まで減圧して、流れ382を作る。減圧した流れ382は、約-43℃(約-45°F)より低く、好ましくは約-87℃(約-125°F)より低く、より好ましくは約-115℃(約-175°F)より低い温度にある。次に、流れ382を熱交換器122で追加の寒冷を生じさせるためそこで気化させ加温し、そして混合冷媒圧縮機162へ流れ260として導入する。

【0037】図5は図4の態様を改良したものを説明する。図5の窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。圧縮し部分的に凝縮させた混合冷媒流168を相分離器366に導入する。相分離器366から液体流を抜き出して、流れ569と570に分割する。流れ570を液化熱交

換器122で冷却して流れ372を生じさせ、弁374を通して減圧して流れ476を作る。次に、流れ476を熱交換器122で寒冷を生じさせるためそこで気化させ加温し、そして混合冷媒圧縮機162へ流れ262として導入する。

【0038】相分離器366からの蒸気流368を流れ569と一緒にして流れ568を作る。続いて、流れ568を熱交換器122で流れ372よりも低い温度まで冷却して流れ378を生じさせ、それを弁380を通して流れ476の圧力より低い圧力まで減圧して流れ382を作る。減圧した流れ382は、約-43℃(約-45°F)より低く、好ましくは約-87℃(約-125°F)より低く、より好ましくは約-115℃(約-175°F)より低い温度にある。続いて、流れ382を熱交換器122で追加の寒冷を提供させるためそこで気化させ加温して、次に混合冷媒圧縮機162へ流れ260として導入する。流れ368へ流れ569を加えることが、流れ568の組成の微調整を可能にする。

【0039】図1～5の態様に対して、混合冷媒サイクル内に相分離の追加の段階を加えることにより多くの程度の改良を行うことができる。一つの例を図6に示すが、これは図3のプロセスを改良したものである。図6における窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。混合冷媒再循環流160を混合冷媒圧縮機162で圧縮し、熱交換器164で部分的に凝縮させて流れ168を作り、相分離器366へ導入する。相分離器366から、より低揮発性の成分に富ませた液体流370を抜き出し、液化熱交換器122で冷却して流れ372を生じさせ、弁374を通し減圧して流れ376を作る。

【0040】より高揮発性の成分に富ませた相分離器366からの蒸気流368を、液化熱交換器122で冷却し少なくとも部分的に凝縮させて流れ678を生じさせる。流れ678を随意に減圧し、次いで相分離器680へ送って蒸気流682と液体流684とを作る。より高揮発性の成分に一層富ませた流れ682を熱交換器122で更に冷却して流れ378を作る。続いて、流れ378を弁380を通して減圧して流れ382を生じさせ、そしてそれを液化熱交換器122で気化させ加温して寒冷を提供させ且つ中間流686を生じさせる。流れ686を相分離器680からの液体流684と一緒にして流れ688を作る。随意に、流れ684を、中間流686と一緒にするより前に冷却してもよい。流れ688を更に気化させて追加の寒冷を提供させ、且つ流れ690を作って、それを流れ376と一緒にして流れ386を作る。この流れを気化させて追加の寒冷を提供させ、そして加温して混合冷媒再循環流160を生じさせる。分離器680の追加は、図3の態様を使って効率的に実現することができるよりも低い温度の冷媒として使用するためより高揮発性の成分に更に富ませた蒸気を生じさせ

るための手段を提供する。

【0041】図7は、組成を異にする複数の冷媒を用い複数の冷却サイクルを使って低温を得ることができる別の態様を提示するものである。図7の窒素サイクルの運転は、100と156のものを利用する図1の態様から変更されていない。第一の冷媒再循環流760を第一の再循環圧縮機762で圧縮し、次に熱交換器764で冷却し少なくとも部分的に凝縮させて流れ766を作る。流れ766を熱交換器122で冷却して流れ768を生じさせ、次いで弁770を通して減圧して流れ772を作る。続いて、流れ772を熱交換器122で寒冷を提供させるためそこで気化させ加温して、第一の冷媒再循環流760を生じさせる。第二の冷媒再循環流780を第二の再循環圧縮機782で圧縮し、熱交換器784で冷却して流れ786を作る。流れ786を熱交換器122で冷却し凝縮させて、流れ768よりも冷たい流れ788を生じさせる。流れ788を弁790を通し減圧して流れ792を作り、それを熱交換器122で追加の寒冷を提供させるためそこで気化させ加温して、第二の冷媒再循環流780を生じさせる。第一の冷媒と第二の冷媒は純粋な成分でもよくあるいは複数成分の混合物でもよい。この態様において説明したように、第一の冷媒の揮発度は第二の冷媒の揮発度よりも低い。図7の態様は、場合により、特に第一及び第二の冷媒が純粋成分である場合に、図3～6の態様よりも運転するのが簡単であろう。図7により説明される態様の不都合は、多数の圧縮機を使用しなくてはならず、その結果資本費が高くなりかねない、ということである。図7の態様を本質的に純粋な冷媒成分を使って実施するときには、第一の冷媒用の典型的な流体はプロパン、そして第二の冷媒用の典型的な流体はエタン（又はエチレン）である。図7の態様における第二の冷媒は分割してもよく、そしてそれらの流れは異なる圧力レベルで気化させられる。

【0042】先の開示では、ガスの圧縮を一般的に説明し、そして具体的な圧縮工程について詳しく検討しなかった。図8は、図3の態様で使用される、窒素圧縮機（上部のフローダイヤグラム）及び冷媒圧縮機（下部のフローダイヤグラム）のための可能性のある圧縮構成を図示している。窒素圧縮機では、一緒にした窒素の戻り流108を、一般に絶対圧483kPa（70psia）と690kPa（100psia）の間の範囲の圧力で第一段に導入する。流れ108を多段階的に、この例では5段階で、圧縮し、そして最初の4つの段階のそれぞれの吐出側で中間冷却器を使用する。圧縮段階のうちの少なくとも大部分を電気モーターで駆動するのが慣例であり、スチームタービン又はガスタービンを随意に使用してもよい。この例では、窒素エキスパンダー126で窒素圧縮の5段階目を駆動している。圧縮に続いて、圧縮窒素を後置冷却器112で冷却して、一般に絶対圧4140kPa（600psia）と10300k

Pa（1500psia）の間、より一般には絶対圧6210kPa（900psia）と8620kPa（1250psia）の間の圧力の流れ120を生じさせる。

【0043】混合冷媒再循環圧縮機162を図8の下部のフローダイヤグラムに示す。入口及び出口の圧力は、組成や冷媒温度レベルを含めた多数の因子のために、非常に変わりやすい。入口圧力の典型的な値は絶対圧103kPa（15psia）と483kPa（70psia）の間の範囲にあり、典型的な出口圧力は絶対圧1030kPa（150psia）と3450kPa（500psia）の間の範囲にある。混合冷媒圧縮に共通のもう一つの特徴は、より低揮発性の成分、例えばブタンやペンタンといったものが、流体が圧縮段階の間で中間冷却される際に気相から部分的に凝縮することである。その結果として、相分離器を導入して、図示した圧縮段階の間で凝縮した液を回収する。これらの凝縮した液をポンプで圧縮機吐出圧力まで昇圧し、圧縮の最後の段階から出てくる圧縮ガス流と混ぜる。流体の混合はしばしば、例えば、熱交換器164での最終の冷却及び凝縮より前に行われる。混合冷媒組成の注意深い選択と中間冷却及び段階圧縮比に対する調整とが、中間冷却器分離器の一部又は全部をなくすのを可能にすることができる。

【0044】図1～7で使用する窒素サイクルは、多数の可能な構成のうちのほんの一つに過ぎない。本発明は、冷却し圧縮した窒素のうちの一部分の仕事膨張を基にした既知の窒素サイクルのいずれも利用することができる。例えば、上述の態様は単一のターボエキスパンダー（126）を使用しているが、動力費が高く及び／又は液の生産量が多い場合には、多数のターボエキスパンダーの使用、及びそれに関連する、より低い動力必要量の利益を、保証することができる。更に、効率の向上のために、減圧弁144の代わりに「高密度流体エキスパンダー」と呼ばれることがよくある仕事を発生するエキスパンダーを使用してもよい。

【0045】原料ガスを液化させる圧力は、所望なら窒素エキスパンダーへの入口圧力と違ってよい。この場合には、液化させようとするガスの圧力は一般に、エキスパンダー入口の圧力より高くなる。

【0046】図1～7で説明した冷却サイクルは、全てを網羅してはいない。本発明は、閉ループ操作を基にし、冷却サイクルで少なくとも二つの成分を使用し、そして寒冷の提供のために冷媒流体の気化を利用する、任意の単一混合冷媒、複混合冷媒、又はカスケードサイクルを使って実施することができる。加えて、冷却サイクルで使用する減圧弁、例えば図3の弁374や380に代えて、効率の向上のために仕事発生エキスパンダーを使うことができよう。更に、減圧弁から出てくる冷媒流と液化熱交換器に入ってくる冷媒流は、単一相の液であることが望ましい。これは効率に関して言えば完全に最適で

はないかもしれないものの、熱交換機器の設計は単純になろう。図8に示された圧縮の配置構成は説明のために用意したものであり、本発明の範囲を限定しようとするものではない。

【0047】

【実施例】以下の例は、図3に示した本発明の態様を説明し、それをプロセスの熱収支及び物質収支により図9のより伝統的な従来技術の方法と比較するものである。モル基準で表した、この例のための混合冷媒組成は、メタンが23%、エタンが38%、プロパンが14%、ブタン類が14%、ペンタン類が11%である。

【0048】図9は、典型的、効率的な、エキスパンダー2基の窒素再循環液化プロセスを示している。低压の窒素補給蒸気100を低压の窒素再循環流154と一緒にして流れ102を作る。流れ102を補給圧縮機104で圧縮して流れ106を作る。流れ106を中圧の窒素再循環流156と一緒にして流れ108を作る。流れ108を再循環圧縮機110で圧縮し、後置冷却器912で冷却し、そして流れ916と流れ920とに分割する。流れ920を液化熱交換器122で冷却して流れ922を作り、次いでターボエキスパンダー924で膨張させる。流れ916は圧縮機918で更に圧縮し、次いで後置冷却器112で冷却して流れ120を作る。流れ

120を、熱交換器の低温端及び高温端の温度の中間の温度まで冷却し、流れ124と流れ140とに分割する。流れ124をターボエキスパンダー126で仕事膨張させて流れ128を作り、中圧の相分離器130へ導入する。

【0049】流れ140を更に冷却して温度がその臨界温度より低い流れ142を生じさせ、弁144を通して減圧し、そして中圧の相分離器130へ導入する。この中圧相分離器からの蒸気流146を液化熱交換器122で部分的に加温して、寒冷を提供させ且つ流れ928を作り、それをターボエキスパンダー924からの流れ926と一緒にし十分に加温して、追加の寒冷と中圧窒素再循環流156とを生じさせる。中圧相分離器からの液体流132を更に減圧し、低压相分離器148へ導入する。この低压相分離器からの蒸気流152を液化熱交換器122で加温して、低压窒素再循環流154を生じさせる。低压相分離器からの液体流150が、最終の液体窒素製品を構成する。

【0050】図3の態様と図9の従来技術の方法との比較を下記の表1と表2に示す。

【0051】

【表1】

表1  
流れの概要比較

流れ 番号	流れの説明	本発明 (図3)			従来技術 (図9)		
		温度 (°C [° F])	圧力 (kPa [psia])	流量 (kg-mol/h [lb-mol/h])	温度 (°C [° F])	圧力 (kPa [psia])	流量 (kg-mol/h [lb-mol/h])
102	圧縮機104へのN <sub>2</sub>	31.7[89]	103[15]	1157[2551]	31.7[89]	103[15]	1169[2578]
108	圧縮機110へのN <sub>2</sub>	31.1[88]	600[87]	2805[6184]	31.1[88]	634[92]	5319[11727]
120	第一の蒸圧N <sub>2</sub>	32.2[90]	7412[1075]	2805[6184]	32.2[90]	8557[1241]	3233[7127]
920	第二の蒸圧N <sub>2</sub>			0[0]	32.2[90]	3537[513]	2087[4600]
124	エキスパンダー 126へのN <sub>2</sub>	-109[-165]	7357[1067]	2007[4426]	-88[-127]	8502[1233]	2220[4895]
922	エキスパンダー 924へのN <sub>2</sub>			0[0]	6.7[44]	3503[508]	2087[4600]
142	高圧低温N <sub>2</sub>	-178[-288]	3743[1065]	795[1752]	-177[-286]	8488[1231]	1012[2232]
150	液体N <sub>2</sub> 製品	-193[-315]	138[20]	945[2083]	-193[-315]	138[20]	945[2083]
160	圧縮機162への多成分冷媒	30.6[87]	276[40]	1141[2515]			0[0]
368	366からの多成分冷媒蒸気	32.2[90]	1900[275]	760[1675]			0[0]
370	366からの多成分冷媒液	32.2[90]	1900[275]	331[840]			0[0]
372	井374への多成分冷媒液	-53[-63]	1861[270]	381[840]			0[0]
378	井360への多成分冷媒蒸気	-130[-202]	1869[271]	760[1675]			0[0]

【0052】

【表2】

表 2  
動力比較

機器番号	説明	本発明の動力 (図 3) (kW)	従来技術の動力 (図 9) (kW)
104	104への投入動力	2, 119	2, 203
110	110への投入動力	6, 488	10, 866
162	162への投入動力	1, 727	0
126	126からの利得	(801)	(1, 142)
924	924からの利得	0	(1, 572)
	全動力必要量	9, 533	10, 355
	据付機械装置動力	11, 135	15, 783

【0053】この仕事膨張させる例から得られた結果から、本発明は伝統的な従来技術のものより8.5%少ない動力を消費することが示される。更に、資本費を構成するものの一つである据付機械装置の動力は、本発明の場合30%少ない。

【0054】このように、本発明は、ガスの液化、特に窒素の液化のための方法を提供し、そしてそれは窒素の自動冷却サイクルの使用を、2種以上の冷媒成分を用いる1以上の閉ループ冷却サイクルと組み合わせる。この閉ループ又は再循環冷却サイクルは、最低温度が典型的に約-43℃(約-45°F)と約-157℃(約-250°F)の間の温度範囲内の寒冷を提供する。窒素エキスパンダーサイクルが追加の寒冷を提供し、そのうちの一部は閉ループ又は再循環冷却サイクルの最低温度より低い温度で提供される。窒素エキスパンダーサイクルの冷却範囲の最低温度は、一般に約-140℃(約-220°F)と約-196℃(約-320°F)の間にある。二つの異なる冷媒系を組み合わせる使用することが、各系が最適な温度範囲で最も効率的に機能を果たすのを可能にし、それにより液化のための動力消費量を低減させる。

【0055】本発明の本質的な特徴は上述の開示に完全に記載されている。当業者は、本発明を理解することができ、そして本発明の基本精神から逸脱することなく、且つ特許請求の範囲に記載されたものと均等あるいは同等のものから逸脱することなく、様々な改変を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】窒素を液化するための寒冷を提供するのに窒素エキスパンダーサイクルと閉ループ混合冷媒サイクルとを利用する本発明の態様の概要フローダイアグラムである。

【図2】閉ループ混合冷媒サイクルが二つの別個の熱交換循環路において二つの異なる圧力レベルで冷媒を気化させることにより寒冷を提供する本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図3】閉ループ混合冷媒サイクルが圧縮し部分的に凝縮させた冷媒を二つの別個の熱交換循環路において冷却及び減圧される蒸気流と液体流とに分けることにより寒冷を提供する本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図4】閉ループ混合冷媒サイクルが圧縮し部分的に凝縮させた冷媒を二つの異なる圧力レベルの二つの別個の熱交換循環路において冷却及び減圧される蒸気流と液体流とに分けることにより寒冷を提供する本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図5】冷媒の液体流のうちの一部分を冷却前に冷媒の蒸気流と一緒にする、図4の態様と同様の本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図6】冷媒の蒸気流のうちの一部分を、冷却及び減圧後に追加の液体及び蒸気流に分け、この追加の蒸気流を冷却し減圧する、図3の態様と同様の本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図7】二つの独立した閉ループ冷媒サイクルを利用する本発明のもう一つの態様を説明する図である。

【図8】窒素と冷媒の圧縮のために別の多段圧縮機を使用する本発明のもう一つの態様を説明する図である。

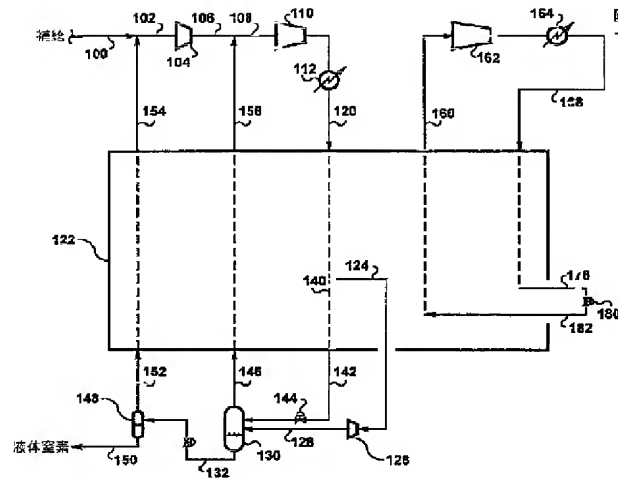
【図9】従来技術の窒素液化装置のサイクルの概要フローダイアグラムである。

#### 【符号の説明】

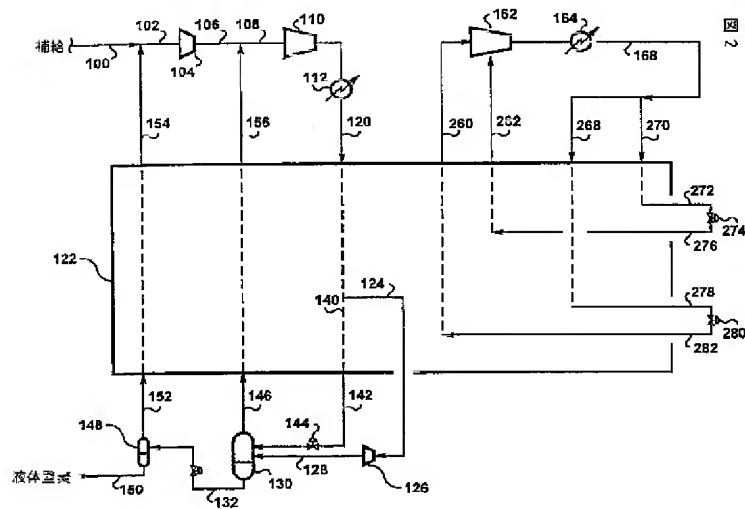
- 104…補給圧縮機
- 110…再循環圧縮機
- 112…後置冷却器
- 122…液化熱交換器

- 164…後置冷却器  
366、680…相分離器  
762、782…再循環壓縮機  
764、784…後置冷却器

【例 1】

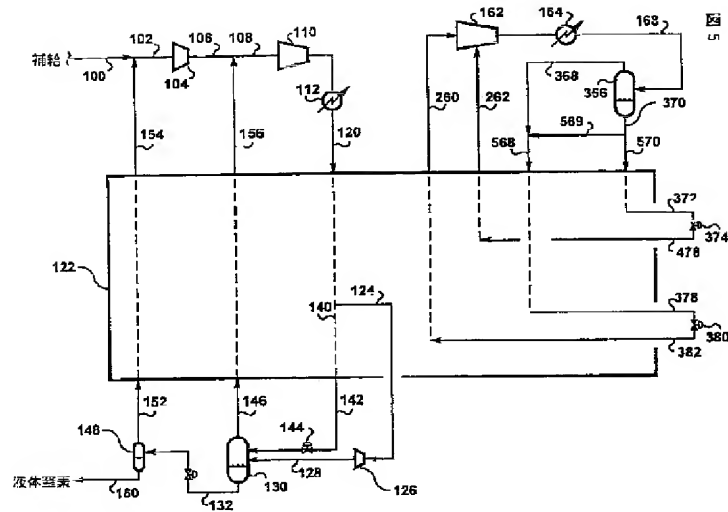


【図 2】

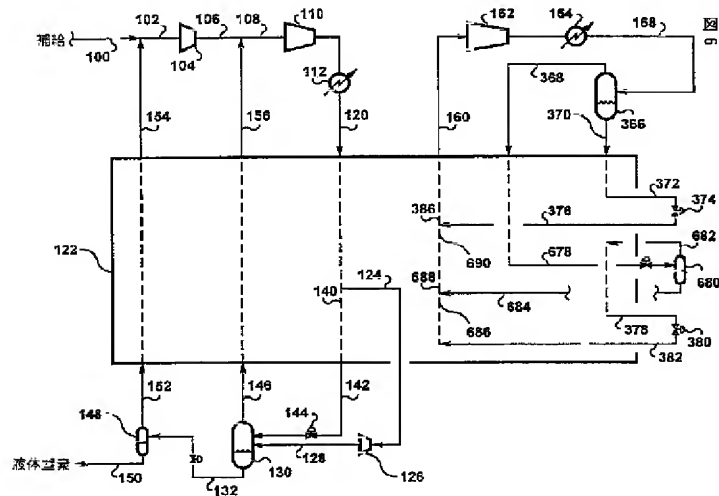




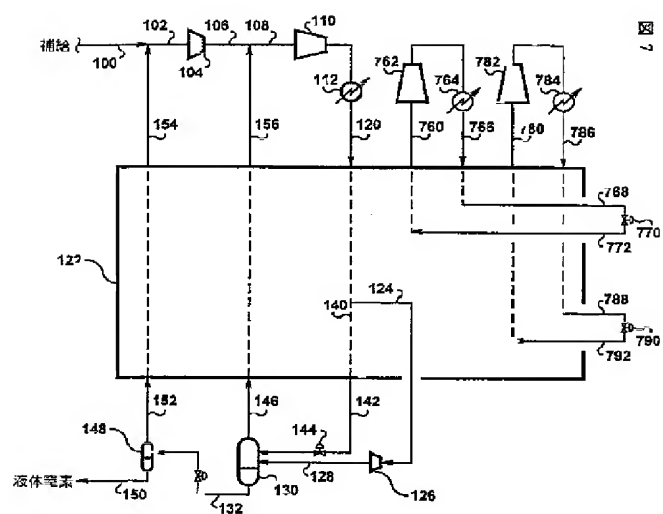
【図5】



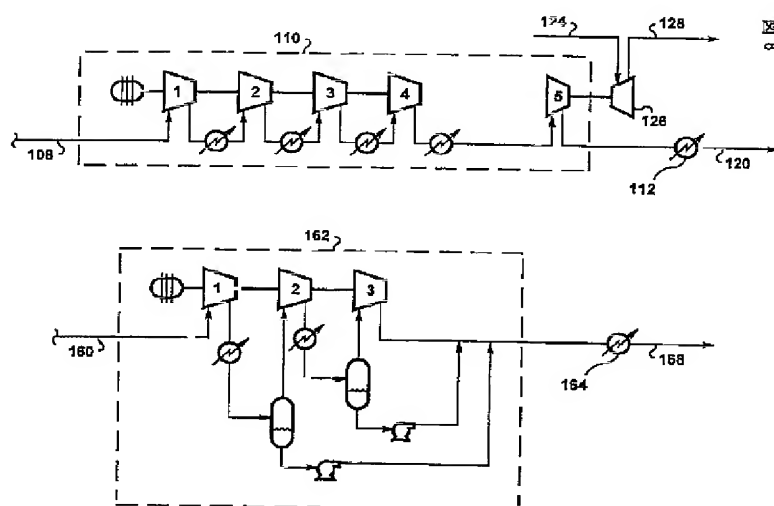
【図6】



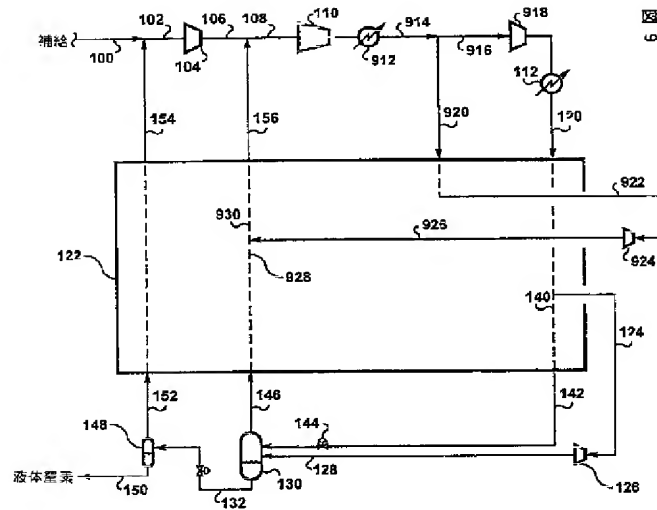
【图7】



【図8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 アダム エイドリアン ブロストウ  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18949,  
エモース, コロニアル コート 126

(72)発明者 ラケシュ アグロール  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18049,  
エモース, コモンウェルス ドライブ  
4312

(72)発明者 ドン マイケル ハーロン  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 18051,  
フォゲルスビル, ピーチ レーン 8228

(72)発明者 マーク ジュリアン ロバーツ  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア 19529,  
ケンプトン, カナリス ドライブ 8866